



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 357 388**

⑫ Número de solicitud: 201000609

⑬ Int. Cl.:

G01L 1/24 (2006.01)

G01K 11/32 (2006.01)

G01B 11/16 (2006.01)

G01D 5/353 (2006.01)

⑫

SOLICITUD DE PATENTE

A1

②② Fecha de presentación: **07.05.2010**

④③ Fecha de publicación de la solicitud: **26.04.2011**

④③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:
26.04.2011

⑦① Solicitante/s: **Universidad de Cantabria**
Pabellón de Gobierno
Avda. de los Castros, s/n
39005 Santander, Cantabria, ES

⑦② Inventor/es: **Madruga Saavedra, Francisco Javier;**
López Higuera, José Miguel;
Ullán Nieto, Ángel y
Galíndez Jamioy, Carlos Augusto

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Sensor óptico biparamétrico basado en efecto Brillouin.**

⑤⑦ Resumen:

Sensor óptico biparamétrico basado en efecto Brillouin. Sensor óptico para medir temperatura y elongación en una estructura, que comprende: una fuente óptica (1) configurada para emitir una señal óptica de bombeo; al menos un transductor óptico (6) que comprende una primera guía de onda (14) y una segunda guía de onda (15) conectadas en serie, donde la primera guía de onda (14) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una frecuencia Brillouin y la segunda guía de onda (15) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a otra-frecuencia Brillouin; -un dispositivo óptico de entrada/salida (10) para permitir el paso de la señal óptica de bombeo hacia dicho transductor óptico (6) y para permitir el paso de una señal óptica contra-propagante desde dicho transductor óptico (6) hacia un acoplador óptico (7). El al menos un transductor óptico (6), el dispositivo óptico de entrada/salida (10) y el acoplador óptico (7) forman una cavidad resonante en anillo. Cuando la señal óptica de bombeo es inyectada en el transductor (6), se genera en cada una de las guías de onda (14, 15) un efecto Brillouin que provoca una señal óptica centrada a una frecuencia Brillouin respectiva. El acoplador óptico (7) es capaz de reinyectar en la cavidad óptica en anillo las señales ópticas centradas a dichas frecuencias Brillouin. La medida de estas dos frecuencias (ν_{B1} , ν_{B2}) permite discriminar la elongación y temperatura de la estructura.

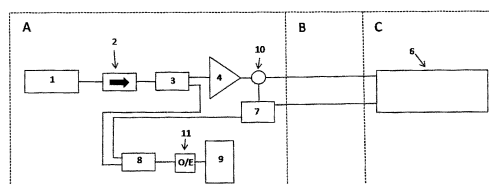


Figura 1

ES 2 357 388 A1

DESCRIPCIÓN

Sensor óptico biparamétrico basado en efecto brillouin.

5 **Campo de la invención**

La presente invención pertenece al campo de las técnicas y aparatos para medida de parámetros en estructuras. En concreto, se refiere a las técnicas para medir y monitorizar en tiempo real la elongación y la temperatura de una estructura dada.

10 **Antecedentes de la invención**

Son conocidas diversas técnicas y dispositivos para medir parámetros en estructuras de ingeniería, obra civil y construcción. Una forma habitual de sensado de deformaciones en estructuras es mediante fibra óptica. Así, la patente estadounidense US4927232 describe un sistema de fibra óptica para monitorizar las posibles deformaciones en una estructura analizando características como la atenuación o la fase de una señal óptica transmitida a través de esa fibra, mientras que la patente europea EP0404242 B1 propone un sistema basado en interferometría de señales ópticas, quedando reflejadas las posibles deformaciones como variaciones del camino óptico recorrido por la luz que se propaga a través de una fibra óptica.

También se han desarrollado sistemas de medida de tensión en estructuras, tales como el presentado en 1994 por D. Inaudi, A. Elamari y S. Vurpillot en la 2nd European Conference on Smart Structures and Materials (Glasgow), que está basado en interferometría de baja coherencia ("Low coherence interferometry for the monitoring of civil engineering structures"). En este sistema el transductor está formado por dos fibras terminadas en sendos espejos, las cuales constituyen los dos "brazos" de un interferómetro de Michelson.

Dentro de los sistemas de sensado, se conocen los sistemas de sensado distribuido basados en el scattering Brillouin en fibras ópticas, como el propuesto en la patente británica GB2289331: Esta técnica propone la inyección en la fibra de dos radiaciones contra propagantes, separadas en frecuencia un valor equivalente a v_B para dicha fibra. De esta forma, se induce en la fibra el proceso de dispersión Brillouin estimulado (SBS) y, analizando la intensidad de la radiación recibida tras este proceso, se pueden deducir las condiciones de temperatura o elongación en la fibra. Además, propone la utilización de pulsos de diferentes anchuras para realizar análisis con mayor o menor resolución, todo ello en el punto a lo largo de la fibra.

La solicitud de patente internacional WO03/078932 A1 presenta otra técnica basada en el análisis espectral de la luz dispersada por dispersión Brillouin en una fibra. Esta técnica propone la utilización de una fibra troncal de la cual salen varias fibras sensoras hacia los diferentes sectores de la estructura que se quiere monitorizar. La dispersión Brillouin es conducida hacia atrás por la propia fibra y llevada al detector a través de la fibra troncal. También propone la utilización de pulsos de diferentes anchuras para realizar análisis con mayor o menor resolución, todo ello en el dominio óptico. Asimismo, se sugiere la utilización de una fibra no sometida a tensión para compensar el efecto de la temperatura.

Otro sensor basado en dispersión Brillouin espontáneo es el proporcionado por la patente estadounidense US7283216 B1. Este sensor incorpora un láser en anillo de efecto Brillouin como oscilador local en la detección heterodina. La fibra sensora no forma parte de la cavidad resonante, que tiene una longitud de 10-20 m. La señal láser generada en dicha cavidad es utilizada bien como bombeo para generar el scattering Brillouin en la fibra sensora, o bien como referencia para el batido con la señal proveniente de la fibra sensora. Así, la detección heterodina puede realizarse a baja frecuencia (100-500 MHz), lo que permite utilizar detectores con menor ancho de banda y mayor sensibilidad así como la posibilidad de procesar los datos en tiempo real con la tecnología disponible comercialmente.

La solicitud de patente estadounidense US2008/0068586 A1 describe un sistema de sensado basado en SBS que no necesita un ajuste manual de la intensidad de la luz inyectada en la fibra, con una precisión en la medida de elongación de hasta $200 \mu\epsilon$.

Por otra parte, los láseres en anillo por efecto Brillouin han sido muy desarrollados en los últimos años y ofrecen unas líneas de emisión muy estrechas, lo que es beneficioso en determinadas aplicaciones. La patente estadounidense US7272160 B1 propone una técnica para generar un láser en anillo de efecto Brillouin con un control electrónico de estabilidad, una cavidad de 10-40 m de longitud y una anchura de línea por debajo de los 200 Hz.

Carlos Galíndez *et al.* describen en *Temperature sensing in multiple zones based on Brillouin fiber ring laser*, Journal of Physics: Conference Series 178 (2009) 012017, un sistema para el sensado de un único parámetro -en este caso la temperatura-, en múltiples zonas basado en un láser Brillouin. El sistema de sensado se basa en un transductor de fibra óptica, donde usando tramos de fibra óptica de características diferentes se representan zonas diferentes en las que se permite realizar la medida. La presencia de una sola fibra en cada zona permite determinar un único parámetro (elongación o temperatura) en esa zona.

Por otra parte, O. Frazão *et al.* describen en *Brillouin fibre laser discrete sensor for simultaneous strain and temperature measurement*, Applied Physics B, Lasers and Optics 86, pages 555-558 (2007), un sensor de tensión y temperatura que consiste en una cavidad Fabry-Pérot con 20 m de fibra óptica entre dos redes de Bragg (*Fiber Bragg Grating FBG*).

Este sensor presenta algunos inconvenientes, como la necesidad de usar dos redes de Bragg, que son dispositivos sensibles a otros parámetros, lo que complica la implementación del sensor, reduciendo la exactitud de la medida. Además, el sensor de Frazão requiere que la longitud de la fibra óptica sea fija.

Resumen de la invención

La presente invención trata de resolver los problemas mencionados anteriormente mediante un sistema sensor para medir la temperatura y la elongación de forma integral entre dos puntos.

Concretamente, en un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un sensor óptico para medir temperatura y elongación en una estructura, que comprende: una fuente óptica configurada para emitir una señal óptica de bombeo; al menos un transductor óptico que comprende una primera guía de onda y una segunda guía de onda conectadas en serie; y un dispositivo óptico de entrada/salida configurado para permitir el paso de la señal óptica de bombeo hacia dicho transductor óptico y para permitir el paso de una señal óptica contra-propagante desde dicho transductor óptico hacia un acoplador óptico. La primera guía de onda del transductor óptico está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin y la segunda guía de onda del transductor óptico está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin diferente de la anterior. El al menos un transductor óptico, el dispositivo óptico de entrada/salida y el acoplador óptico forman una cavidad resonante en anillo, de forma que cuando la señal óptica de bombeo es inyectada en el transductor, se genera en cada una de las guías de onda que forman el transductor un efecto Brillouin que provoca una señal óptica centrada a una frecuencia Brillouin respectiva. El acoplador óptico es capaz de reinyectar en la cavidad óptica en anillo, a través del dispositivo óptico de entrada/salida, las señales ópticas centradas a las frecuencias Brillouin respectivas. La medida de estas dos frecuencias permite discriminar los dos parámetros, elongación y temperatura de la estructura.

Preferentemente, el sensor comprende además: medios para combinar la señal óptica de bombeo y las señales ópticas centradas a las frecuencias Brillouin; un fotodetector para convertir las señales ópticas en señales eléctricas; y medios para procesar las señales eléctricas y determinar, a partir del desplazamiento en frecuencia entre dichas señales, la temperatura y elongación a la que se somete al menos una de las guías de onda.

Preferentemente, el sensor comprende además un amplificador óptico localizado entre la fuente óptica y el dispositivo óptico de entrada/salida para amplificar dicha señal óptica de bombeo.

Preferentemente, el sensor comprende además medios para aislar ópticamente la fuente óptica.

Preferentemente, el dispositivo óptico de entrada/salida es un circulador óptico.

Preferentemente, el transductor comprende al menos un controlador de polarización para regular la polarización de la luz que entra al transductor.

Preferentemente, cada guía de onda del transductor se encuentra fija a una estructura en dos puntos de anclaje separados una determinada distancia, a lo largo de la cual se puede medir la temperatura y elongación.

En una posible realización, una de las dos guías de onda se encuentra ligeramente tensionada entre los dos puntos de anclaje y la otra guía de onda es más larga que dicha distancia, con el fin de que sólo sea afectada por la temperatura, manteniéndose insensible a la elongación. En otra posible realización, las dos guías de onda se encuentran tensionadas entre los dos puntos de anclaje.

En una posible realización, el sensor comprende una pluralidad de transductores conectados en serie.

En otra posible realización, el sensor comprende: una pluralidad de cavidades resonantes en anillo, cada una de ellas formadas por un transductor óptico, un dispositivo óptico de entrada/salida y un acoplador óptico; y medios para dividir la señal óptica de bombeo generada por la fuente óptica e inyectar en cada cavidad resonante en anillo una parte de dicha señal óptica dividida.

Opcionalmente, el al menos un transductor comprende una cubierta protectora.

Preferentemente, las guías de onda que forman el al menos un transductor son fibras ópticas.

En otro aspecto de la invención, se proporciona un método de sensado de temperatura y/o elongación, que comprende: generar una señal óptica de bombeo mediante una fuente óptica; inyectar la señal óptica en un transductor óptico a través de un dispositivo óptico de entrada/salida, donde el transductor comprende una primera guía de onda

y una segunda guía de onda conectadas en serie, donde la primera guía de onda está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin y la segunda guía de onda está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin diferente de la anterior; generar de forma espontánea un efecto Brillouin estimulado en el transductor; formando una señal óptica centrada a una frecuencia Brillouin en cada una de las guías de onda que forman el transductor; reinyectar a través de un acoplador óptico las señales ópticas centradas a sendas frecuencias Brillouin en una cavidad óptica en anillo formada por el transductor, el dispositivo óptico de entrada/salida y el propio acoplador óptico, obteniendo una señal óptica retrodispersada; extraer dicha señal óptica retrodispersada de la cavidad resonante en anillo; mezclar la señal óptica retrodispersada con la señal óptica de bombeo; convertir al dominio eléctrico la señal resultante; calcular la temperatura y/o elongación entre dos puntos a los que se haya conectado el transductor a partir de los parámetros Brillouin de las señales detectadas.

Las ventajas de la invención se harán evidentes en la descripción siguiente.

Breve descripción de las figuras

Con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica del mismo, y para complementar esta descripción, se acompaña como parte integrante de la misma, un juego de dibujos, cuyo carácter es ilustrativo y no limitativo. En estos dibujos:

La figura 1 muestra un esquema básico del sistema sensor propuesto de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 2 muestra la estructura del transductor óptico de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 3 muestra un esquema de un sistema sensor multi-transductor de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 4 muestra un esquema de las tres partes de un sistema sensor multitransductor con N transductores colocados en paralelo de acuerdo con una realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

A continuación se describe un sistema sensor activo bi-paramétrico capaz de medir de forma integral en tiempo real la temperatura y la elongación total entre dos puntos situados a lo largo de una estructura, independientemente de la distancia. Como se explica más adelante, entre dichos puntos se sitúan convenientemente guías de onda ópticas en las que se genera dispersión Brillouin. El sensor se basa en la dependencia de efecto de dispersión Brillouin con los parámetros a medir y con las propiedades físicas de las guías ópticas. Este efecto (efecto de dispersión Brillouin) es estimulado y amplificado usando una cavidad resonante en anillo, de la que forman parte las citadas guías (que pueden ser, por ejemplo, fibras ópticas). Las guías de onda son la base de un transductor óptico, que se detalla más adelante.

Cuando una radiación óptica (de bombeo) que se propaga por una guía de onda específica supera un umbral, se puede producir dispersión (scattering no lineal) de Brillouin; así pues se genera una onda contra-propagante cuya frecuencia está desplazada un valor denominado frecuencia de Brillouin (ν_B , valor central del espectro de ganancia de Brillouin). Es decir, la señal contra-propagante está centrada en una frecuencia óptica diferente de la que la originó. Las características de la señal de dispersión Brillouin generada dependen de las propiedades del material que componen la guía de onda, tales como la densidad, la forma geométrica, la estructura física del material, entre otras. De igual manera la frecuencia de Brillouin también depende de las condiciones de temperatura y elongación (*strain*) a las que se someta la guía de onda. Si la guía de onda se incluye dentro de una cavidad resonante en forma de anillo, la interacción Brillouin es reforzada o estimulada por la misma luz dispersada espontáneamente por el material pudiéndose generar una señal Stokes más intensa y selectiva. Es decir, se obtiene una señal de Brillouin (SBS) cuyo ancho de banda (bandwidth) espectral de ganancia Brillouin ($\Delta\nu_B$) es muy estrecho (valores típicos cercanos a los 30 MHz, que sobre una longitud de onda de 1500 nm equivale aproximadamente a 0.05 pm). Esta selectividad en la señal de salida da lugar a grandes resoluciones en la medida de las variaciones de la frecuencia Brillouin, y *por ende* en las variaciones de temperatura y elongación a las que estén sometidas las guías de onda. La temperatura y la elongación a la que el transductor es sometido se determinan mediante la medida y un adecuado procesamiento de las radiaciones generadas, en concreto analizando el desplazamiento de la frecuencia Brillouin de cada fibra. Estas dos medidas permiten la correcta discriminación de ambos parámetros.

Las radiaciones se autorefuerzan al re-inyectarlas en la cavidad resonante en anillo formada por las citadas guías de forma contra-propagante a la señal de bombeo. Por lo tanto, la radiación contra-propagante se hace resonar emitiendo sendas radiaciones láser (láser Brillouin) muy estrechas cuyas bandas espectrales dependen de las propiedades de las guías, del bombeo, de la temperatura y de la elongación a las que son sometidas la citadas guías.

La figura 1 muestra un esquema básico del sistema sensor propuesto. Se trata de un sensor bi-paramétrico e integral de guías de ondas que comprende una unidad opto-electrónica A, un canal B y uno o más transductores C.

El esquema de la figura 1 representa un único transductor, referenciado como 6. Otras realizaciones incluyen varios transductores.

La unidad opto-electrónica A genera y procesa la radiación óptica para inducir el efecto Brillouin en el transductor o transductores 6, lo detecta, lo trata y lo mide. La unidad opto-electrónica A de la figura 1 comprende los siguientes elementos: una fuente óptica coherente 1, que se protege por un aislador óptico 2 ubicado a la salida de la fuente; un amplificador óptico 4; un dispositivo 10 que permite la entrada y la salida de las señales ópticas del/hacia el dispositivo transductor 6; y un sistema analizador 9 de la señal óptica 9. La unidad opto-electrónica A necesita además otros dispositivos ópticos 3 7 8 repartidores de señal óptica, que dividen o combinan la luz dependiendo de la función que se necesite dentro del sensor. Estos elementos 3 7 8 pueden realizarse mediante acopladores ópticos. Preferentemente, el dispositivo 10 se implementa mediante un girador o circulador óptico. Alternativamente, el dispositivo 10 puede implementarse mediante un acoplador óptico.

La fuente óptica 1 debe elegirse de forma que:

- i. la señal de bombeo debe tener una densidad de energía suficiente para la generación del efecto Brillouin en las guías de onda del transductor 6.
- ii. debe estar protegida de posibles retro-dispersiones que interfieran en la generación del efecto Brillouin y/o la dañen.

Además, el dispositivo óptico 10 debe permitir la entrada de las señales ópticas al dispositivo transductor 6 y recoger la señal de dispersión proveniente del dispositivo transductor 6.

El canal B está compuesto por tramos de guías de onda y conecta la unidad opto-electrónica con el o los transductores 6. Estas dos guías de onda se implementan de forma que no se presente el efecto Brillouin.

La cavidad resonante A se crea mediante el dispositivo 10, el acoplador óptico 7 y el transductor 6. Como se ha dicho, el dispositivo 10 preferentemente se implementa mediante un circulador óptico 10. El circulador 10 direcciona las señales provenientes del acoplador 3 situado a la entrada del amplificador óptico 4 hacia el transductor 6 y las provenientes de este último hacia el acoplador 7.

La figura 2 muestra una implementación preferente del transductor óptico 6. El transductor 6 está formado por dos tramos de guías de onda 14 15 de diferentes características físicas (tales como, por ejemplo, dopado, perfil de índice, etc.), con el fin de obtener diferentes respuestas espectrales con diferentes frecuencias de Brillouin (ν_{B1} , ν_{B2}).

Las guías de onda son preferentemente fibras ópticas. Más preferentemente, se implementa con dos fibras monomodo de diferentes características. También preferentemente, el transductor 6 comprende además uno o varios dispositivos controladores de polarización 5 para regular la polarización óptica de las señales que entran a la cavidad de anillo. Los controladores de polarización 5 sirven para optimizar la interacción entre las dos señales ópticas contra-propagantes en las dos guías de onda.

La relación señal a ruido de los dos tramos de guías de onda 14 15 es mejorada si forman parte de una cavidad en anillo gracias a la amplificación. En otras palabras, la cavidad se usa para generar la dispersión estimulada de Brillouin y dicha dispersión es empleada como elemento de amplificación y filtrado óptico muy selectivo.

En el transductor 6 se originan tantas señales por efecto Brillouin (a diferentes frecuencias Brillouin ν_{B1} , ν_{B2}) como guías diferentes (14, 15) se hayan utilizado. Simultáneamente, todas las líneas de radiación generadas (ν_{B1} , ν_{B2}) en el transductor 6 (señales por efecto Brillouin) se mezclan (en el elemento acoplador 8) con una muestra de la radiación luminosa del láser de bombeo 1 (figura 1), las cuales son detectadas en tiempo real. Las líneas de emisión en frecuencias ópticas son trasladadas a frecuencias eléctricas (fotodetector 11 de la figura 1) determinando en tiempo real sus valores mediante un analizador de espectros eléctricos, frecuencímetros o equipos similares 9. Mediante métodos algorítmicos de procesado, que no forman parte de la presente invención, se determinan en tiempo real la elongación y la temperatura a la que se somete cada una de las guías de cada conjunto transductor, así como de otras variables que puedan derivarse de la elongación ("strain") y/o de la temperatura.

Como se ha dicho, las guías de onda 14 15 se implementan preferentemente mediante fibras ópticas. Consecuencia de las propiedades del SBS en fibras ópticas, las diferentes líneas emitidas por cada fibra de los transductores son muy selectivas, lo que contribuye a mejorar la resolución y precisión en la medida del desplazamiento en frecuencia y consecuentemente en la resolución y precisión de la temperatura y/o de la elongación.

Una forma de implementación se propone utilizando un dispositivo transductor que comprende dos guías de onda 14 15, por ejemplo fibras ópticas. Las guías 14 15 se sitúan entre los puntos cuya elongación o "strain" se desea medir, pudiendo estar o bien integrada en la estructura o bien pre-tensionada entre los dos extremos separados una distancia L por medio de un elemento de anclaje 13. Las guías se fijan a la estructura en dos puntos que coinciden con el punto de comienzo de la primera fibra y el punto final de la segunda fibra y viceversa. Con esta configuración se habilita la medida tanto de la temperatura como de la elongación a las que son sometidas las unidades transductoras, como la esquematizada en la figura 2. Las guías 14 15 responden a la elongación y la temperatura entre los elementos de

anclaje 13 puesto que la frecuencia de la línea de emisión por efecto Brillouin (señales por efecto Brillouin) en ellas depende de estos factores. La correcta caracterización de las guías 14 15 en temperatura y elongación y el correcto procesamiento de las líneas de emisión por efecto Brillouin mediante matrices de datos cruzados permite la discriminación de la temperatura y de la elongación en el transductor. Una muestra de la señal óptica con la que se ha generado el efecto Brillouin puede ser usada como oscilador local para batirse con las señales Stokes (o líneas de emisión por efecto Brillouin) provenientes del transductor. Esto se refleja en la figura 1 ya que la línea que une 3 y 8 es la vía por la que se lleva esta muestra hasta 8 donde tiene lugar el batido, o mezcla, con las líneas de emisión por efecto Brillouin provenientes del transductor 6.

En una implementación concreta del transductor implementado en fibra óptica, que debe considerarse ilustrativa y no limitativa, una de las fibras ópticas se encuentra laxa para discriminar el efecto de la temperatura, mientras que la otra fibra está tensada para proporcionar información de la elongación, como es el caso en la figura 2. Alternativamente, puesto que las dos fibras tienen características físicas diferentes, se puede utilizar una disposición en la que ambas fibras estén tensadas. En este caso, en ambas guías de onda se puede medir tanto temperatura como elongación (*strain*). En el ejemplo de la figura 2, las fibras están conectadas ópticamente en serie y se encuentran ancladas entre dos puntos separados una distancia L , que se corresponde con la longitud del transductor.

El transductor puede, opcionalmente, incorporar una cubierta de protección 16, que puede ser rígida o flexible, a fin de detectar tanto elongaciones como curvaturas en la estructura.

El transductor de la figura 2 tiene las siguientes características:

- i. comprende dos fibras conectadas ópticamente en serie, las cuales forman parte de una cavidad resonante (en anillo en este caso).
- ii. Las guías de onda ópticas 14 15 debe tener las longitudes adecuadas para la generación del efecto Brillouin (ν_{B1} , ν_{B2}) suficiente en función de las potencias de bombeo que las interroga.
- iii. La longitud de la guía de onda óptica no necesariamente debe ser igual para las dos guías de onda (ej. Fibras) 14 15 que constituyen el transductor.
- iv. Las guías de onda ópticas 14 15 deben estar conectadas ópticamente.
- v. La cubierta de protección 16 no debe aislar el transductor de cambios externos de temperatura ni de elongación de la fibra.
- vi. La polarización del campo óptico que entra y sale del transductor debe ser controlada y maximizada con el fin de obtener un valor eficiente de ganancia de Brillouin, dado que este fenómeno es dependiente de la polarización.

A continuación se proporciona un ejemplo concreto de implementación del dispositivo sensor en tecnología de fibra óptica, de acuerdo con el esquema de la figura 1. Este ejemplo debe considerarse ilustrativo y no limitativo. La fuente óptica 1 es un láser que genera la señal para el bombeo y el oscilador local usando el acoplador 3. La luz que se inyecta en la cavidad es previamente amplificada usando un amplificador óptico 4, que en este ejemplo es un EDFA. La señal entra en la cavidad a través de un circulador óptico 10, el cual sirve a su vez para extraer la señal de dispersión Brillouin generada espontáneamente (a las frecuencias ν_{B1} , ν_{B2}) y reinyectada por el extremo opuesto de la fibra, con lo que se cierra el anillo de fibra (cavidad en anillo). Con los controladores de polarización 5 del transductor (ver figura 2) se regula la polarización de la luz con el fin de maximizar el efecto Brillouin. El 1% de la señal de Stokes se extrae de la cavidad usando un acoplador 7 (puede ser de relación de acoplo, RA, 99:1 aunque otras relaciones de acoplo son posibles) la cual es batida con una muestra de la señal láser inicial usando un acoplador 8 (puede ser de RA 50:50 aunque otras relaciones de acoplo son posibles). Esta señal óptica es convertida en una señal eléctrica usando un fotodetector 11 y puede ser medida 9, por ejemplo, mediante un analizador de espectros eléctricos (AEE) o medidor de la frecuencia en el dominio eléctrico. La detección y análisis de la señal retrodispersada puede efectuarse mediante heterodinaje o mediante homodinaje.

La figura 3 muestra una posible implementación de un sistema sensor multi-transductor con una unidad opto-electrónica A, un canal B y una pluralidad de N transductores C. Los N transductores 6.1 6.2 ... 6.N están conectados ópticamente en serie y son interrogados simultáneamente mediante una única unidad opto-electrónica A realizada con un único láser 1.

La figura 4 muestra otra posible implementación de un sistema sensor multitransductor con N transductores 6.1 6.2 ... 6.N colocados en paralelo, formando N cavidades y N subsistemas de demodulación y utilizando la señal proveniente de un único láser 1. El elemento 12 se encarga de dividir la salida del láser en N señales ópticas idénticas. El elemento 12 es, por tanto, un acoplador o divisor óptico.

Los ejemplos de las figuras 3 y 4 permiten, usando la misma fuente óptica, obtener $2N$ señales para medir la temperatura y/o la elongación en N tramos de una estructura.

ES 2 357 388 A1

El dispositivo sensor descrito puede ser implementado con tecnología de fibra óptica y usarse para la monitorización en tiempo real de una gran diversidad de estructuras. El sensor, sencillo de implementar, es capaz de medir en tiempo real variaciones de la temperatura integral y de la elongación total entre dos puntos. La distancia de separación entre los puntos puede estar en un rango que comprende las decenas de metros y las decenas de kilómetros; por lo tanto el espectro de estructuras en las que se puede implementar es muy variado.

La invención es aplicable, entre otros dominios, al de las estructuras típicas de la ingeniería, obra civil y construcción, así como en cualquier otro dominio donde se requiera monitorizar en tiempo real la elongación o la temperatura de una estructura dada. Además, las medidas de elongación y temperatura pueden servir para determinar otras variables de forma indirecta, como la tensión mecánica. Los transductores y canales ópticos pueden estar tanto embebidos como situados de manera adecuada en la superficie de la estructura a monitorizar.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Un sensor óptico para medir temperatura y elongación en una estructura, que comprende:

- una fuente óptica (1) configurada para emitir una señal óptica de bombeo;
- al menos un transductor óptico (6) que comprende una primera guía de onda (14) y una segunda guía de onda (15) conectadas en serie;
- un dispositivo óptico de entrada/salida (10) configurado para permitir el paso de la señal óptica de bombeo hacia dicho transductor óptico (6) y para permitir el paso de una señal óptica contra-propagante desde dicho transductor óptico (6) hacia un acoplador óptico (7);

donde el sensor óptico está **caracterizado** por que la primera guía de onda (14) del transductor óptico (6) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin (ν_{B1}) y la segunda guía de onda (15) del transductor óptico (6) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin (ν_{B2}) diferente de la anterior, y donde dicho al menos un transductor óptico (6), dicho dispositivo óptico de entrada/salida (10) y dicho acoplador óptico (7) forman una cavidad resonante en anillo, de forma que cuando dicha señal óptica de bombeo es inyectada en el transductor (6), se genera en cada una de las guías de onda (14, 15) que forman el transductor (6) un efecto Brillouin que provoca una señal óptica centrada a una frecuencia Brillouin respectiva (ν_{B1} , ν_{B2}), y donde dicho acoplador óptico (7) es capaz de reinyectar en la cavidad óptica en anillo, a través del dispositivo óptico de entrada/salida (10), dichas señales ópticas centradas a dichas frecuencias Brillouin respectivas (ν_{B1} , ν_{B2}), permitiendo la medida de estas dos frecuencias (ν_{B1} , ν_{B2}) discriminar los dos parámetros, elongación y temperatura, de dicha estructura.

2. El sensor de la reivindicación 1, que comprende además:

- medios (3, 8) para combinar la señal óptica de bombeo y las señales ópticas centradas a las frecuencias Brillouin;
- un fotodetector (11) para convertir dichas señales ópticas en señales eléctricas; y
- medios (9) para procesar dichas señales eléctricas y determinar, a partir del desplazamiento en frecuencia entre dichas señales, la temperatura y elongación a la que se somete al menos una de dichas guías de onda (14, 15).

3. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones 1 ó 2, que comprende además un amplificador óptico localizado entre la fuente óptica (1) y el dispositivo óptico de entrada/salida (10) para amplificar dicha señal óptica de bombeo.

4. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además medios (2) para aislar ópticamente dicha fuente óptica (1).

5. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho dispositivo óptico de entrada/salida (10) es un circulador óptico.

6. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho transductor (6) comprende al menos un controlador de polarización (5) para regular la polarización de la luz que entra al transductor (6).

7. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde cada guía de onda (14, 15) de dicho transductor (6) se encuentra fija a una estructura en dos puntos de anclaje (13) separados una determinada distancia (L), a lo largo de la cual se puede medir la temperatura y elongación.

8. El sensor de la reivindicación 7, donde una de las dos guías de onda (14) se encuentra ligeramente tensionada entre los dos puntos de anclaje (13) y donde la otra guía de onda (15) es más larga que dicha distancia (L), con el fin de que solo sea afectada por la temperatura, manteniéndose insensible a la elongación.

9. El sensor de la reivindicación 7, donde las dos guías de onda (14, 15) se encuentran tensionadas entre los dos puntos de anclaje (13).

10. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una pluralidad de transductores (6.1, 6.2,..., 6.N) conectados en serie.

11. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende:

- una pluralidad de cavidades resonantes en anillo, cada una de ellas formadas por un transductor óptico (6.1, 6.2, ..., 6.N), un dispositivo óptico de entrada/salida (10) y un acoplador óptico (7); y
- medios (12) para dividir la señal óptica de bombeo generada por la fuente óptica (1) e inyectar en cada cavidad resonante en anillo una parte de dicha señal óptica dividida.

ES 2 357 388 A1

12. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho al menos un transductor (6) comprende una cubierta protectora (16).

13. El sensor de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dichas guías de onda (14, 15) que forman dicho al menos un transductor (6) son fibras ópticas.

14. Un método de sensado de temperatura y elongación, que comprende:

- generar una señal óptica de bombeo mediante una fuente óptica (1);

- inyectar dicha señal óptica en un transductor óptico (6) a través de un dispositivo óptico de entrada/salida (10), donde dicho transductor (6) comprende una primera guía de onda (14) y una segunda guía de onda (15) conectadas en serie, donde la primera guía de onda (14) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin (ν_{B1}) y la segunda guía de onda (15) está configurada para ofrecer una respuesta espectral a una determinada frecuencia Brillouin (ν_{B2}) diferente de la anterior;

- generar de forma espontánea un efecto Brillouin estimulado en dicho transductor (6), formando una señal óptica centrada a una frecuencia Brillouin (ν_{B1} , ν_{B2}) en cada una de las guías de onda (14, 15) que forman el transductor (6);

- reinyectar a través de un acoplador óptico (7) dichas señales ópticas centradas a sendas frecuencias Brillouin (ν_{B1} , ν_{B2}) en una cavidad óptica en anillo formada por el transductor (6), el dispositivo óptico de entrada/salida (10) y el propio acoplador óptico (7), obteniendo una señal óptica retrodispersada;

- extraer dicha señal óptica retrodispersada de la cavidad resonante en anillo;

- mezclar (8) dicha señal óptica retrodispersada con la señal óptica de bombeo;

- convertir al dominio eléctrico (9) la señal resultante;

- calcular la temperatura y elongación entre dos puntos a los que se haya conectado el transductor (6) a partir de las medidas de las dos frecuencias Brillouin (ν_{B1} , ν_{B2}) de las señales detectadas.

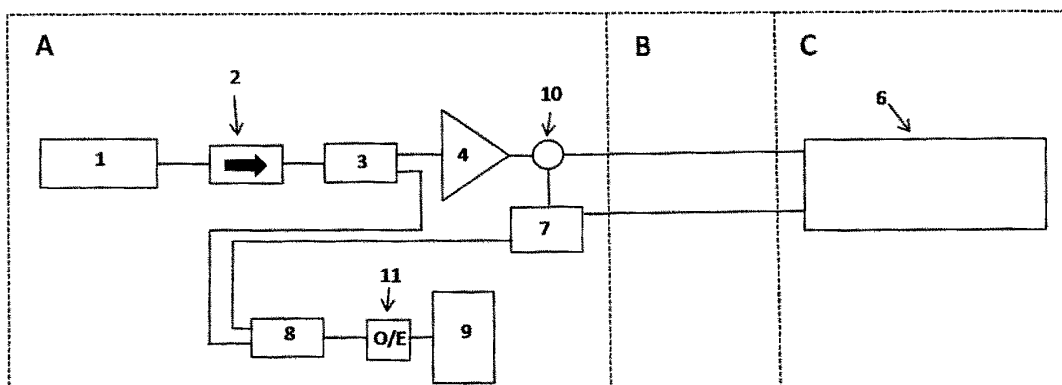


Figura 1

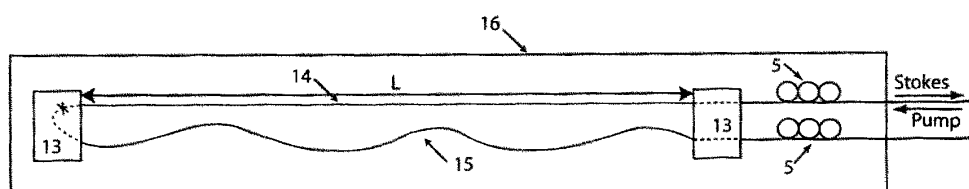


Figura 2

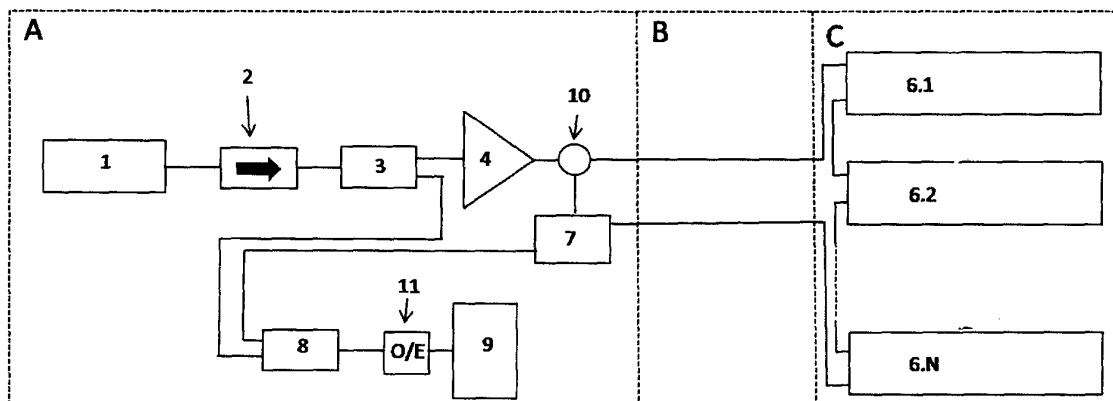


Figura 3

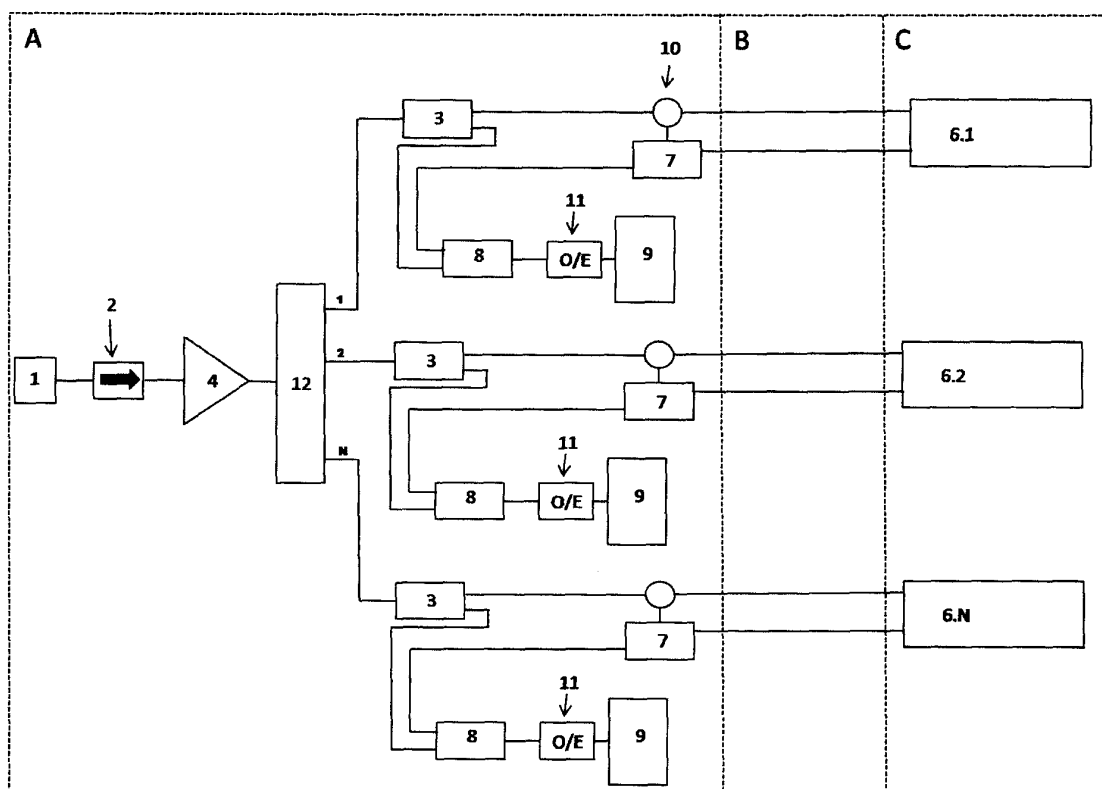


Figura 4



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

②① N.º solicitud: 201000609

②② Fecha de presentación de la solicitud: 07.05.2010

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	GALÍNDEZ, C. A. et al.: "Temperature sensing in multiple zones based on Brillouin fiber ring laser". Sensors & their Applications XV. Journal of Physics: Conference Series 178 (2009) 012017. Págs. 1-5.	1-6,10,12-14
Y	EP 2110651 A1 (OZ OPTICS LTD.) 21.10.2009, resumen; página 3, líneas 7-30; página 4, líneas 3-9; figura 6b.	7-9,11
A		1,10,12-14
Y	WO 03/078932 A1 (FOX-TEK et al.) 25.09.2002, página 1, línea 9 – página 10, línea 9; figuras 1-3.	7-9
A		1,2,7-10,13,14
Y	GB 2318868 A (ANDO ELECTRIC CO., LTD.) 06.05.1998, todo el documento.	11
A		1-14

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
11.04.2011

Examinador
Ó. González Peñalba

Página
1/5

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

G01L1/24 (2006.01)

G01K11/32 (2006.01)

G01B11/16 (2006.01)

G01D5/353 (2006.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01L, G01K, G01B, G01D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPI, INSPEC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 11.04.2011

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)

Reivindicaciones 1-14
Reivindicaciones

SI
NO

Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)

Reivindicaciones
Reivindicaciones 1-14

SI
NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

Consideraciones:

La presente Solicitud se refiere, respectivamente en sus reivindicaciones 1 y 14, a un sensor y a un método para la detección de la temperatura y la elongación, basados en la dispersión estimulada de Brillouin, de respuesta espectral diferenciada, en dos guías de ondas respectivas, una para la temperatura y la otra para la elongación, conectadas en serie formando, junto con un dispositivo óptico de entrada / salida para la inyección de una señal de bombeo procedente de una fuente óptica y la propagación en sentido contrario de las señales de Brillouin respectivas, y un acoplador óptico para la extracción de dichas señales de Brillouin contrapropagantes, una cavidad resonante en anillo que permite la amplificación de ambas señales centradas en las respectivas frecuencias de Brillouin para su posterior extracción, a través del acoplador óptico, su medida y la discriminación de la temperatura y la elongación, respectivamente, en cada guía de ondas.

Las restantes reivindicaciones 2 a 13, dependientes directa o indirectamente de la reivindicación 1, concretan características de ciertos elementos y añaden otros adicionales para un funcionamiento óptimo del dispositivo sensor en ella recogido. Cabe destacar aquí las opciones de funcionamiento de varios transductores dispuestos en serie, utilizando un mismo bombeo óptico (reivindicación 10), y en paralelo, repartiendo el bombeo óptico entre todos ellos (reivindicación 11).

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	GALÍNDEZ, C. A. et al.: "Temperature sensing in multiple zones based on Brillouin fiber ring laser". Sensors & their Applications XV. Journal of Physics: Conference Series 178 (2009) 012017. Págs. 1-5.	2009
D02	EP 2110651 A1 (OZ OPTICS LTD.)	21.10.2009
D03	WO 03/078932 A1 (FOX-TEK et al.)	25.09.2002

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

Se considera que la invención definida en las reivindicaciones 1-14 carece de actividad inventiva por poder ser deducida del estado de la técnica de una forma evidente por un experto en la materia.

En efecto, considerando el documento D01, citado en el Informe de Búsqueda Internacional (IET) con las categorías X (por sí solo) e Y (en combinación con otro documento) para dichas reivindicaciones, y considerado como el estado de la técnica más próximo al objeto de la invención, se describe en él un sensor de medida por dispersión estimulada de Brillouin, de aplicación específica en la medida de la temperatura en múltiples zonas, pero contemplándose también su aplicación genérica en la medida tanto de la temperatura como de la elongación (strain) a lo largo de una fibra (véase el Resumen - Abstract), factores ambos de los que depende el desplazamiento de frecuencia de Brillouin. El dispositivo es, por lo demás, totalmente semejante al de la invención: se contemplan varias zonas de medida materializadas como fibras ópticas dispuestas en serie (tres como ejemplo, pero podrían ser dos), formando una cavidad resonante en anillo que favorece la excitación y amplificación de señales contrapropagantes de Brillouin, desplazadas en frecuencia con respecto del bombeo en cantidades que dependen de las temperaturas de las zonas recorridas, respectivamente, por cada fibra. Estas señales se extraen y analizan, mezcladas con la señal de bombeo, para determinar estos desplazamientos y los correspondientes valores de temperatura.

La única diferencia, por tanto, entre el objeto de la reivindicación 1 y el dispositivo de D01 es la medida explícita de la magnitud de elongación en una de las fibras, en lugar de la temperatura. Ahora bien, a esta posibilidad puede llegarse de modo evidente partiendo de dos hechos contemplados en D01: por un lado, la medición de un cierto parámetro en zonas diferenciadas de medida, materializadas como fibras ópticas conectadas en serie, y, por otro lado, la posibilidad de que este parámetro sea, indistintamente, la temperatura o la elongación. Un experto de la técnica podrá combinar de forma evidente, a la luz de D01, ambos aspectos para obtener un dispositivo sensor que mida la temperatura en unas zonas y la elongación en otras. Y ello sin necesidad de introducir ningún cambio estructural ni físico en el dispositivo de D01, puesto que si lo que cambia en una de las zonas de medida no es la temperatura sino la elongación, este cambio se recogerá igualmente en la parte detectora del dispositivo, aun sin pretenderse o haberse considerado inicialmente.

Dicha reivindicación 1 carece, por tanto, de actividad inventiva con respecto a D01 de acuerdo con el Artículo 8 de la LP, y puede llegarse a idéntica conclusión por un mismo razonamiento para la reivindicación de método 14.

Por su parte, los elementos añadidos o caracterizados adicionalmente en las reivindicaciones 2-6, 10, 12 y 13 se encuentran también idénticamente anticipados en D01, por lo que estas reivindicaciones carecen también de actividad inventiva respecto a D01 de conformidad con dicho Artículo 8.

En cuanto a las reivindicaciones 7-9, se recoge en ellas la disposición física del transductor para la medida, anclado en dos puntos extremos a la estructura que se desea medir (reivindicación 7), de manera que una de las fibras está tensa y la otra está laxa (reivindicación 8), o ambas fibras están tensionadas entre ambos puntos (reivindicación 9). Estos detalles estructurales de la instalación del transductor no se contemplan en D01, pero sí están recogidos o son evidentes en el documento D02, citado también en el IET con la categoría Y para estas reivindicaciones en combinación con D01. En concreto, en el dispositivo ilustrado en la Figura 6b, se utiliza una fibra óptica compuesta de dos tramos fijados a lo largo de toda su longitud (y, por tanto, también en sus extremos) al objeto que se desea medir (pág. 3, lín. 21), uno para la medida de la temperatura y otro para la medida de la elongación. No se menciona que uno de ellos quede laxo, pero este hecho es evidente si su finalidad es la medida de la temperatura, y no de la elongación. Un experto de la técnica podrá recurrir, por tanto, de un modo evidente a este dispositivo para resolver los problemas técnicos planteados en estas reivindicaciones con respecto a D01 y que este documento no es capaz de solucionar por sí solo. En consecuencia, dichas reivindicaciones carecen también de actividad inventiva con respecto a la combinación de D01 y D02, de acuerdo con dicho Artículo 8 de la LP.

Y, por último, la disposición en paralelo de transductores recogida en la reivindicación 11 se encuentra también contemplada en el documento D03, asimismo citado en el IET con la categoría Y para esta reivindicación en combinación con D01. En dicho documento, perteneciente, además, al mismo campo tecnológico de la detección de la temperatura y la elongación por dispersión estimulada de Brillouin, medios divisores reparten un haz de bombeo entre diversos transductores derivados de una fibra troncal común, anticipando de esta forma la disposición en paralelo de la invención. Un experto de la técnica podrá recurrir, por tanto, de forma evidente a D03 para obtener las mismas ventajas y resolver idénticos problemas a los planteados con respecto a la disposición de transductores en paralelo de dicha reivindicación 11, mediante idéntica distribución en derivación en D03. Tampoco esta reivindicación tiene actividad inventiva con respecto de la combinación de D01 y D03.